

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 18220051301742

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

应用共焦显微镜原理

实现多层光盘信息读取技术研究

Study on Multi-layer Optic Disk Readout Technology
with Confocal Microscopy

康品春

指导教师姓名: 张建寰 副教授

专 业 名 称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩时间: 2008 年 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 5 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博士论文摘要库

摘要

三维光存储能将光存储密度提高几个数量级。实现三维光存储技术的主要困难之一就是在读取信息时，如何有效地消除相邻数据层之间的相互串扰。本文提出了一种基于共焦显微镜光学分层技术的三维光盘读取技术。共焦显微镜能对一定厚度的透明材料进行光学层析扫描，其结构上采用针孔（Pinhole）装置，形成物象共轭的独特设计，激光经物镜焦平面上针孔形成点光源对样品扫描，于测量透镜焦平面的探测针孔处经空间滤波后，有效地抑制同焦平面上非测量光点附近的杂散荧光和样品非聚焦面上射来的干扰荧光，这是因为光学系统物象共轭，只有物镜焦平面上的点经针孔空间滤波才能进入探测器被接收。因此，利用共焦技术，当激光聚焦在选定的信息层上时，来至于其他相隔一定距离的信息层数据将不会通过共焦小孔而进入探测器被读取，这大大的抑制了层间串扰，使我们可以分别对各个信息层进行独立数据读取。

论文主要完成了以下工作：

- （1）引入共焦显微镜原理，系统地设计了共焦多层光盘信号读取的光路系统，并利用共焦光学传递函数，对共焦多层光盘系统进行数学计算和理论分析。
- （2）应用矢量衍射理论，建立了光盘信号读取的数学模型，并进行分析。随着光盘数据容量的不断增大，信息记录尺寸不断的减少，已经接近激光波长量级，这时采用传统标量衍射理论对光盘模型进行数学分析将带来极大的误差。
- （3）根据矢量衍射理论数学模型，编制了 Matlab 光盘矢量衍射程序，并用之于光盘读出信号的分析。
- （4）设计并实现了共焦多层光盘数据读取系统，得出实验结果。

本文应用共焦显微镜原理探讨的多层光盘信息抗干扰读取技术及理论，可有效消除三维光盘信息读取时的干扰问题，是多层光学存储技术开发中的一个关键技术，具有重要意义。

关键词：光存储；多层存储；共焦显微镜；矢量衍射；严格耦合波分析

厦门大学博士论文摘要库

Abstract

One reason that computers have become increasingly important in daily life is because they offer unprecedented access to massive amounts of information. The decreasing cost of storing data and the increasing storage capacities of ever smaller devices have been key enablers of this revolution. Current storage needs are being met because improvements in conventional technologies, such as magnetic hard disk drives, optical disks, and semiconductor Memories, have been able to keep pace with the demand for greater and faster storage.

However, there is strong evidence that these surface-storage technologies are approaching fundamental limits that may be difficult to overcome, as ever-smaller bits become less thermally stable and harder to access. Exactly when this limit will be reached remains an open question: some experts predict these barriers will be encountered in a few years, while others believe that conventional technologies can continue to improve for at least five more years. In either case, one or more successors to current data storage technologies will be needed in the near future. An intriguing approach for next generation data-storage is to use light to store information throughout the three-dimensional volume of a material. By distributing data within the volume of the recording medium, it should be possible to achieve far greater storage densities than current technologies can offer.

For instance, the surface storage density accessible with focused beams of light (without near-field techniques) is roughly $1/\lambda^2$. With green light of roughly 0.5 micron wavelength, this should lead to 4 bits/sq. micron or more than 4 Gigabytes (GB) on each side of a 120mm diameter, 1mm thick disk. But by storing data throughout the volume at a density of $1/\lambda^3$, the capacity of the same disk could be increased 2000-fold, to 8 Terabytes (TB). It is interesting to note that the DVD disk standard exceeds this rough estimate of the areal density limit despite using light of slightly longer wavelength. However, no laboratory demonstration of volumetric storage to date has gotten closer than approximately 1% of the $1/\lambda$ volumetric density limit. The vast unrealized potential of volumetric storage, coupled with the

hard limitations encroaching upon surface optical (and magnetic) storage, has fuelled a large number of research efforts.

In this paper, a multilayer optical data storage method in which confocal microscopy is used for its optical sectioning is proposed. A confocal microscopy has the ability to collect optical sections from thick specimens, the key to the confocal approach is the use of spatial filtering (pinhole) to eliminate out-of-focus light or flare in specimens that are thicker than the plane of focus. For this reason the confocal multi-layer technology is promising as a new multi-layer optic storage method, in which when a layer has been chosen by being focused with the laser beam, the light from other layers in a certain distance-always tens of microns-will not be propagated through the pinhole and detected by a sensitive sensor. This means the information recorded in different layers can be read separately, the interference between layers is greatly suppressed. The properties of multilayer memory based on confocal microscopy are investigated on the basis of vector theory. The algorithms for calculation of field intensity in a focused laser spot and focused beam propagation through multilayer structure have been elaborated. The developed algorithms are applied for investigation of properties for multilayer recording based on confocal microscopy. The numerical simulation of optical properties of a multilayer optical data storage system with three layers has been shown in the paper. We used pits and bumps to record information. The results of the experiment and the conclusion are obtained finally.

Multi-layer optical disk readout technology and its theory analysis basing on confocal microscopy in this paper, can effectively eliminate the interference problems between different layers in three-dimension optical storage. It is a key technology in the development of multi-layer optical storage technology, and will be of great significance.

Keywords: optic storage; multi-layer; confocal microscopy; vector diffraction theory; Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA).

目录

第一章 绪论	1
1.1 课题的研究背景、意义、目的	1
1.2 国内外研究状况及进展	3
1.2.1 双光子吸收三维光存储	3
1.2.2 光学体全息存储	6
1.2.3 光谱烧孔数据存储	8
1.2.4 利用飞秒脉冲激光在透明介质中实现三维存储	9
1.2.5 其他三维体存储技术	9
1.3 国内外目前各种三维存储技术的优缺点比较及发展方向	10
1.4 共焦三维光盘读取技术方案及研究的主要内容	11
1.5 小结	12
第二章 共焦多层光盘系统设计与分析	13
2.1 共焦读出模块原理与分析	13
2.1.1 共焦显微系统原理	13
2.1.2 共焦显微系统成像理论分析	14
1.2 多层光盘系统设计与分析	19
2.2.1 CD/DVD 系统介绍	19
2.2.2 共焦多层光盘光学系统	20
2.3 小结	29
第三章 光盘衍射理论	31
3.1 光盘标量衍射	31
3.1.1 标量衍射理论介绍	32
3.1.2 标量衍射理论的优缺点与误差分析	36
3.2.矢量衍射理论	39
3.2.1 聚焦光束的分解	41
3.2.2 衍射波场的计算	45
3.2.3 读出信号的计算	46
3.3 小结	47
第四章 光盘严格耦合波分析和算法实现	49
4.1 耦合波理论	50
4.1.1 光盘模型与参数	50
4.1.2 电磁场方程与定解条件	51
4.1.3 光栅区域的电磁场	52
4.1.4 盘基和铝介质内的波场	54
4.1.5 衍射波场的求解	55
4.2 分析算法的程序实现	55
4.2.1 采样方法	56
4.2.2 程序流程	57

4.3 小结.....	59
第五章 多层光盘读出信号计算仿真与分析	61
5.1 应用矢量衍射理论对光盘读出信号的分析	61
5.1.1 光源偏振态的影响.....	61
5.1.2 平面波入射角度对读出信号的影响.....	66
5.1.3 坑点形貌参数对读出信号的影响.....	67
5.1.4 金属膜参数对读出信号的影响.....	72
5.2.FDTD 软件仿真.....	73
5.2.1 DVD 光盘信号仿真.....	73
5.2.2 多层光盘信号仿真.....	75
5.3 小结.....	79
第六章 共焦多层光盘系统设计与实验结果分析.....	81
6.1 实验系统设计与装置	81
6.1.1 实验光路系统.....	82
6.1.2 读出信号处理模块.....	83
6.1.3 数据采集模块.....	86
6.1.4 LABVIEW 计算机程序设计	86
6.2 实验结果与分析	87
6.3 小结.....	90
第七章 结论与展望	91
1.结论.....	91
2.论文研究工作创新点	92
3.展望.....	93
参考文献.....	95
致谢.....	99
附录 MATLAB 光盘矢量衍射程序.....	101

CONTENTS

CHAPTER I	INTRODUCTION	1
1.1	Research Background.....	1
1.2	3D Optical Storage Technologys	3
1.2.1	Two-photons absorption 3D storage	3
1.2.2	Optical holography storage	6
1.2.3	Spectrum hole burning storage	8
1.2.4	3D optical storage using femtosecond pulse inside silica glass.....	9
1.2.5	Other multi-layer optical storage technologys	9
1.3	Comparing between all Technologys and Their Develop Trends	10
1.4	Introduction of Confocal Multi-layer Optical Storage	11
1.5	Summary.....	12
Chapter 2	DESIGN AND ANALYSIS OF SYSTEM.....	13
2.1	Principle and Analysis of Confocal Readout System	13
2.1.1	Principle of confocal microscopy	13
2.1.2	Imaging theory and analysis of confocal microscopy.....	14
1.2	Design And Analysis of Cofocal Multi-layer Optical System.....	19
2.2.1	Introduction of CD/DVD system	19
2.2.2	Confocal multi-layer optical disk readout system	20
2.3	Summary.....	29
Chapter 3	DIFFRACTION THEORIES IN OPTICAL DISK.....	31
3.1	Scalar Diffraction Theory	31
3.1.1	Introduction of scalar diffraction theory	32
3.1.2	Limit analysis of scalar diffraction theory	36
3.2.	Vector Diffraction Theory	39
3.2.1	Decomposing of focus light	41
3.2.2	Calculation of diffraction wave field	45
3.2.3	Calculation of readout signal	46
3.3	Summary.....	47
Chapter 4	RIGOROUS COUPLED WAVE ANALYSIS IN	
	OPTICAL DISK AND ITS COMPUTER PROGRAM DESIGN.....	49
4.1	Rigorous Coupled Wave Theory.....	50
4.1.1	Model of optical disk and its parameters	50
4.1.2	Electromagnetism field equations	51
4.1.3	Electromagnetism field in grating zone	52
4.1.4	Wave field in disk substrate	54
4.1.5	Solution of diffraction wave field	55
4.2	Programme of Analysis Arithmetic	55

4.2.1 Method of sampling	56
4.2.2 Flow of program	57
4.3 Summary.....	59
Chapter 5 COMPUTER SIMULATION OF MULTI-LAYER	
OPTICAL DISK READOUT SIGNAL AND ITS ANALYSIS.....	61
5.1 Analysis of Readout Signal Using Vector Diffraction Theory.....	61
5.1.1 Effect of light polarization	61
5.1.2 Effect of wave incidence angle	66
5.1.3 Effect of pit parameters.....	67
5.1.4 Effect of metal parameters	72
5.2 Simulation Using FDTD Software.....	73
5.2.1 Simulation of DVD disk	73
5.2.2 Simulation of multi-layer disk	75
5.3 Summary.....	79
Chapter 6 DESIGN OF EXPERIMENT AND RESULTS	
ANALYSIS.....	81
6.1 Design of Experiment	81
6.1.1 Optical system.....	82
6.1.2 Processing of readout signal	83
6.1.3 Date acquisition	86
6.1.4 LabVIEW programme.....	86
6.2 Results and Analysis	87
6.3 Summary.....	90
Chapter 7 CONCLUSION AND OUTLOOKING.....	91
1. Conclusion	91
2. Innovation of Work.....	92
3. Outlooking	93
REFERENCE.....	95
THANKS.....	99
APPENDIX.....	101

第一章 绪论

1.1 课题的研究背景、意义、目的

随着信息社会的到来,信息存储在国民经济建设及现代军事科学技术中的重要性日益突出,信息的存储是社会信息化中不可缺少的环节。由于信息量以指数函数递增,因此信息的存储必须与之相适应,高密度、大容量信息存储技术已成为社会信息化中需要长期研究解决的重要课题。所以必须不断研究开发高密度、高速信息存储技术和系统。高密度大容量光存储是当前的主流研究发展方向,它建立在包括衍射光学、近场光学、微光学、光电子学、精密工程、材料科学、光化学、并行工程、信息编码与处理算法等多学科综合发展的基础之上,属于新兴的边缘科学。

所谓光存储技术,是通过光学方式在一个被称为光盘的圆盘上进行信息读写的技术。光盘上布满了记录信息的信息坑,又叫信息符。信息符的尺寸对光盘容量起决定性的作用。在光存储技术中,对于只读光盘,采用在盘片上压制凹坑的办法,利用凹坑边缘记录 0,平坦部分记录 1;对于可擦写光盘,通过激光加热改变盘片的反射率来产生凹坑。用 0 和 1 这两种状态来进行存储的方法称为二阶存储,每个信息符可以保存 1bit 的数据。20 世纪 80 年代的光存储产品进入市场时,它比当时通常使用的紧密磁盘具有高出一个数量级的存储密度。由于它采用非接触式读写操作,具有易于更换盘片,保存寿命长,每位信息的成本低廉等优点而被认为是下一代数字存储的主流产品。但在 90 年代中期,由于磁盘技术得到了突破性的发展而使其记录密度达到甚至超过了光存储的记录密度,另外由于光学头的质量比磁头大得多,使得光存储的读写速度也受到了很大的制约。光存储技术面临着严峻的竞争。

近年来,光存储不仅在技术上取得了重大突破,在商业性规模生产方面也获得了巨大成功,逐渐形成了一个引人注目的高科技产业。以光盘为代表的光学数字式数据存储技术已成为当代信息社会中不可缺少的信息载体,并且因其渗透性极强和自成体系而备受社会关注。CD(compact disk)光盘系列和正在发展的 DVD(digital versatile disk)已成为多媒体技术的主要介质,也已形成了上百亿

元美元的产业。

数字光盘存储技术正向更高存储密度和更高存取方向发展。提高光盘密度和容量首先考虑的就是缩短所用激光器的波长和增大物镜数值孔径,第一代 CD 光盘使用的半导体激光器的波长为 830nm,物镜数值孔径为 0.38,其后采用的激光波长为 780nm,物镜数值孔径为 0.45,轨道间距为 $1.6\mu\text{m}$,最短信息坑长度约 $0.8\mu\text{m}$,容量为 650MB,广泛地用于 VCD, CD-ROM, CD-R 及 CD-RW 等产品系列。而 DVD 光盘,激光波长减小到 650nm,物镜数值孔径增加到 0.6,轨道间距为 $0.74\mu\text{m}$,最短信息坑长度约 $0.4\mu\text{m}$,物理密度比 CD 光盘提高了 4 倍以上,实现单面单层 4.7GB,最大盘容量可达到 18GB。下一代主流光盘将进一步沿着这一方向发展,其目标是采用波长更短的蓝光甚至绿光激光器,继续增大物镜的数值孔径,将波长缩短至 400nm 左右,而数值孔径加大至 0.8~0.9,最终实现 120mm 盘的单面单层容量在 25GB 以上。目前蓝光半导体激光有了新的突破,适用于光盘存储读写用激光器已经开始实用并商业化。我国对光盘技术及产品的研究、开发、生产及推广应用均已取得了显著成效。

过去 20 多年来,固体存储器的存储容量提高了 4 个数量级,磁记录的面存储密度一直以 60%—100% 的年增长率增加,已从 100Mb 每平方英寸以下提高到 100Gb 每平方英寸以上。光存储的特点是性能起点高,所以虽然发展历史较短,但在移动存储等领域占据着重要地位。但是,与磁存储、固体存储技术相比,光存储性能提高的幅度较小。在大体相同的时段,光盘的存储容量仅从 12 英寸盘的 1GB 左右提高到 5GB 左右(DVD),即使是最近进入市场的蓝光光盘,其存储容量也仅仅为 25GB 左右。为了保持和提高光存储在信息存储领域的优势和竞争能力,迫切需要在光盘的存储容量方面有一个大的飞跃。若要再进一步提高光盘的密度和容量,由于衍射存在,不能完全依赖缩短所用激光器的波长和增大物镜数值孔径这一技术思路,必须引进新的技术,例如利用空间三维或光的频率维进行信息存储,采用多阶存储代替目前的二阶存储,采用近场超分辨率技术取代传统的远场技术等。

下一代数据存储技术中有一种方法引起很多人的兴趣,那就是光学三维体存储技术。比起当前只利用材料表面的传统存储技术,利用材料的整个体积储存数据,可存储的容量是无可比拟的。如果没有用近场技术的话,表面数据存储可达

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库